

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Hideo NAKAI, et al.

GAU:

SERIAL NO: NEW APPLICATION

EXAMINER:

FILED: HERewith

FOR: MOTOR DRIVING CONTROL DEVICE

REQUEST FOR PRIORITY

COMMISSIONER FOR PATENTS
ALEXANDRIA, VIRGINIA 22313

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number _____, filed _____, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date(s) of U.S. Provisional Application(s) is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e):
Application No. Date Filed

☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

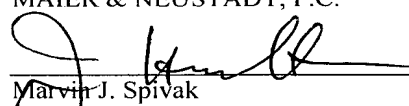
<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
Japan	2002-217454	July 26, 2002

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. _____ filed _____
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number _____
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. _____ filed _____; and
- ☐ (B) Application Serial No.(s)
☐ are submitted herewith
☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.


Marvin J. Spivak

Registration No. 24,913

James D. Hamilton
Registration No. 28,421



22850

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日
Date of Application:

2002年 7月26日

出 願 番 号
Application Number:

特願2002-217454

[ST.10/C]:

[JP2002-217454]

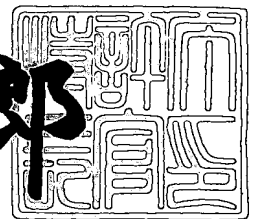
出 願 人
Applicant(s):

株式会社豊田中央研究所
トヨタ自動車株式会社

2003年 5月23日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3038384

【書類名】 特許願

【整理番号】 TC1-0576

【提出日】 平成14年 7月26日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H02K 11/00

【発明者】

 【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1 番地の1 株
 式会社豊田中央研究所内

 【氏名】 中井 英雄

【発明者】

 【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1 番地の1 株
 式会社豊田中央研究所内

 【氏名】 夫馬 弘雄

【発明者】

 【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1 番地の1 株
 式会社豊田中央研究所内

 【氏名】 稲熊 幸雄

【発明者】

 【住所又は居所】 愛知県豊田市トヨタ町1 番地 トヨタ自動車株式会社内

 【氏名】 中村 誠志

【特許出願人】

 【識別番号】 000003609

 【氏名又は名称】 株式会社豊田中央研究所

【特許出願人】

 【識別番号】 000003207

 【氏名又は名称】 トヨタ自動車株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100075258

 【弁理士】

【氏名又は名称】 吉田 研二

【電話番号】 0422-21-2340

【選任した代理人】

【識別番号】 100096976

【弁理士】

【氏名又は名称】 石田 純

【電話番号】 0422-21-2340

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 001753

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 モータ駆動制御装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ロータを回転させるための回転磁界を生起する多相コイルを複数個有するモータの駆動制御装置であって、

前記複数個の多相コイルの少なくとも 1 つの相電流であって、独立した相電流の個数よりも少ない数の相電流を計測する相電流検出手段と、

検出した相電流と、モータモデルあるいはモータの状態を表すモデルを利用して、モータの状態を推定し、この推定結果に基づきモータへの駆動制御信号を生成する制御信号生成手段と、

を有し、

制御信号生成手段からの駆動制御信号に応じて、モータの各相電流を制御して、モータの駆動を制御するモータ駆動制御装置。

【請求項 2】 ロータを回転させるための回転磁界を生起する多相コイルを複数個有するモータの駆動装置であって、

前記複数個の多相コイルの 1 つずつの相電流を加算した少なくとも 1 つの加算相電流であって加算相電流の総数より少ない数の加算相電流を計測する加算相電流検出手段と、

検出した加算相電流と、モータモデルあるいはモータの状態を表すモデルを利用して、モータの状態を推定し、この推定結果に基づきモータへの駆動制御信号を生成する制御信号生成手段と、

を有し、

制御信号生成手段からの駆動制御信号に応じて、モータの各相電流を制御して、モータの駆動を制御するモータ駆動制御装置。

【請求項 3】 請求項 2 に記載の装置において、

前記モータは中性点同士が接続された 2 つの多相コイルを含み、この 2 つの多相コイルの中性点間に流れる中性点電流を検出する中性点電流検出手段を設け、

前記加算相電流検出手段は、少なくとも 2 つの加算相電流を検出し、

かつ前記モータモデルあるいはモータの状態を表すモデルとして線形モデルを

利用するモータ制御装置。

【請求項 4】 請求項 2 に記載の装置において、

前記モータは中性点同士が接続された 2 つの多相コイルを含み、この 2 つの多相コイルの中性点間に流れる中性点電流を検出する中性点電流検出手段を設け、
かつ前記モータモデルあるいはモータの状態を表すモデルとして非線形モデルを利用するモータ制御装置。

【請求項 5】 請求項 2 に記載の装置において、

前記モータは独立した 2 つの多相コイルを含み、
前記加算相電流検出手段は、少なくとも 2 つの加算相電流を検出し、
かつ前記モータモデルあるいはモータの状態を表すモデルとして線形モデルを利用するモータ制御装置。

【請求項 6】 請求項 2 に記載の装置において、

前記モータは独立した 2 つの多相コイルを含み、
かつ前記モータモデルあるいはモータの状態を表すモデルとして非線形モデルを利用するモータ制御装置。

【請求項 7】 請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 つに記載の装置において、

前記多相コイルは、3 相コイルであるモータ駆動制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、ロータを回転させるための回転磁界を生起する多相コイルを複数個有するモータの駆動装置に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

従来より、永久磁石モータや、誘導モータなど、ステータコイルにより回転磁界を形成し、ロータを回転させる形式の交流モータが知られている。このような交流モータにおいては、インバータを用いてステータコイルの電流を制御することで、広範囲の出力トルク制御が行えるとともに、回生電力をバッテリーなどに回収できるというメリットも得られる。

【 0 0 0 3 】

このような交流モータとしては、互いに 1 2 0 度ずつずれた 3 相コイルを有する 3 相モータが最も一般的であるが、システムによっては、この 3 相コイルを複数設ける場合もある。例えば、複数の 3 相モータを駆動する場合であれば、3 相コイルが複数個設けられる。さらに、3 相コイルを 1 つのロータに対し複数組設けるモータも知られている。このモータにおいても、1 つのシステム内に 3 相コイルが複数個設けられる。

【 0 0 0 4 】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、このようなモータは、各 3 相コイルに対し、インバータをそれぞれ設け、このインバータのスイッチングをそれぞれ制御して駆動制御が行われる。そこで、複数の 3 相コイルのコイル電流を別途検出して、インバータのスイッチングを制御することが必要になる。

【 0 0 0 5 】

通常 3 相モータでは、3 相コイルの内の 2 相のコイル電流を測定し、これに基づいて 3 相コイルの電流を算出し、各相コイル電流が所望の値になるようにインバータのスイッチングを制御している。

【 0 0 0 6 】

このため、6 相のコイルでは、4 つの電流センサが必要となる。この電流センサは、交流モータの正確な制御のためには、精度のよいものとする必要があり、多数の電流センサを必要とするためにシステムが高価になってしまうという問題があった。

【 0 0 0 7 】

なお、モータにオブザーバを適用したモータは、特開平 1 0 - 2 2 5 1 9 9 号公報、特開 2 0 0 1 - 3 0 9 6 9 7 号公報などに示されている。

【 0 0 0 8 】

本発明は、上記課題に鑑みなされたものであり、モータにおいて、電流センサ数を減少することができるモータの駆動制御装置を提供することを目的とする。

【 0 0 0 9 】

【課題を解決するための手段】

本発明は、ロータを回転させるための回転磁界を生起する多相コイルを複数個有するモータの駆動制御装置であって、前記複数個の多相コイルの少なくとも1つの相電流であって、独立した相電流の個数よりも少ない数の相電流を計測する相電流検出手段と、検出した相電流と、モータモデルあるいはモータの状態を表すモデルを利用して、モータの状態を推定し、この推定結果に基づきモータへの駆動制御信号を生成する制御信号生成手段と、を有し、制御信号生成手段からの駆動制御信号に応じて、モータの各相電流を制御して、モータの駆動を制御することを特徴とする。

【0010】

このように、本発明では、モデルを用いてモータ電流を推定するため、3相コイルのような多相コイルの電流の検出する数を減少できる。例えば、3相コイルを有するモータにおいては、2つのコイル電流を測定することが必要であり、3相モータを2つ有する場合には、4つのコイル電流を測定する必要がある。しかし、本発明によれば、モデルの推定を利用することによって、これより少ない数の電流検出により、モータ駆動を制御することができる。

【0011】

また、本発明は、ロータを回転させるための回転磁界を生起する多相コイルを複数個有するモータの駆動装置であって、前記複数個の多相コイルの1つずつの相電流を加算した少なくとも1つの加算相電流であって加算相電流の総数より少ない数の加算相電流を計測する加算相電流検出手段と、検出した加算相電流と、モータモデルあるいはモータの状態を表すモデルを利用して、モータの状態を推定し、この推定結果に基づきモータへの駆動制御信号を生成する制御信号生成手段と、を有し、制御信号生成手段からの駆動制御信号に応じて、モータの各相電流を制御して、モータの駆動を制御することを特徴とする。

【0012】

また、前記モータは中性点同士が接続された2つの多相コイルを含み、この2つの多相コイルの中性点間に流れる中性点電流を検出する中性点電流検出手段を設け、前記加算相電流検出手段は、少なくとも2つの加算相電流を検出し、かつ

前記モータモデルあるいはモータの状態を表すモデルとして線形モデルを利用することが好適である。

【0013】

また、前記モータは中性点同士が接続された2つの多相コイルを含み、この2つの多相コイルの中性点間に流れる中性点電流を検出する中性点電流検出手段を設け、かつ前記モータモデルあるいはモータの状態を表すモデルとして非線形モデルを利用することが好適である。

【0014】

このように、加算相電流を計測することで、計測する電流の数を非常に少なくして、モデルを構成することができ、これを利用して相電流を推定することができる。また、2つの多相コイルの中性点間が接続されている場合には、この中性点間に流れる零相電流についてのモデルは独立しており、零相電流を計測することが必要となる。

【0015】

また、前記モータは独立した2つの多相コイルを含み、前記加算相電流検出手段は、少なくとも2つの加算相電流を検出し、かつ前記モータモデルあるいはモータの状態を表すモデルとして線形モデルを利用することが好適である。

【0016】

また、前記モータは独立した2つの多相コイルを含み、かつ前記モータモデルあるいはモータの状態を表すモデルとして非線形モデルを利用することが好適である。

【0017】

2つの多相コイルの中性点間が接続されていない場合には、零相電流はなく、これを検出する必要がなくなる。

【0018】

なお、前記多相コイルは、3相コイルであることが好適である。

【0019】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態について、図面に基づいて説明する。

【 0 0 2 0 】

本実施形態では、6相モータ（モータ）についての、オブザーバを定義し、このオブザーバを利用して、少ないセンサ数で、6相のモータコイル電流を算出して、6相モータの駆動を制御する。

【 0 0 2 1 】

〔基本構成〕

図 1 1 には、6相モータの基本的構成が示されている。6相モータMは、2つの3相コイルY 1、Y 2を有している。3相コイルY 1には、インバータINV 1が接続されており、3相コイルY 2には、インバータINV 2が接続されている。これらインバータINV 1、INV 2は、それぞれ直列接続された一对のスイッチング素子からなるアームを3本有しており、一对のトランジスタ同士の接続点がそれぞれ対応する3相コイルY 1、Y 2の3つのコイル端に接続されている。

【 0 0 2 2 】

そして、インバータINV 1、INV 2の入力側には、バッテリーBが接続されている。また、コントローラCONが設けられ、インバータINV 1、INV 2のスイッチング素子をオンオフする。

【 0 0 2 3 】

インバータINV 1は、3相コイルY 1に120度ずつ位相が異なる電流 I_{u1} 、 I_{v1} 、 I_{w1} を供給し、インバータINV 2は、3相コイルY 2に120度ずつ位相が異なる電流 I_{u2} 、 I_{v2} 、 I_{w2} を供給する。

【 0 0 2 4 】

図において、3相コイルY 1、Y 2は、独立して設けられている。しかし、本実施形態では、2つの3相コイルY 1、Y 2の中性点間を低圧バッテリーを介し接続するシステムでもよく、この場合にはバッテリーBに代えてコンデンサを採用することもできる。

【 0 0 2 5 】

〔回路方程式〕

まず、2つのスター結線コイルを有するPM (Permanent Magnet) モータの回

路方程式について説明する。

【 0 0 2 6 】

対象となる 6 相モータの概略構成を図 1 に示す。このように、2 つのスター結線コイル Y 1、Y 2 が若干位相を異ならせて配置されている。この例では、1 つ目のスター結線コイル Y 1 は、ステータ上のある基準位置（図においては上方）から $\theta 1$ の角度を持ち、2 つ目のスター結線コイル Y 2 は基準位置から $\theta 2$ の角度を持っている。なお、スター結線コイル Y 1、Y 2 とも、3 つのコイルを互いに 1 2 0 度ずらせてスター結線したものである。

【 0 0 2 7 】

このような図 1 の PM モータについての電圧方程式は、式（1）で表される。

【数 1】

$$\hat{v} = R\hat{i} + \hat{v}_m + \frac{d}{dt} \left\{ \left(\hat{L}_a \mathbf{I} + \begin{pmatrix} \hat{m}(\theta_1, \theta_1) & \hat{m}(\theta_1, \theta_2) \\ \hat{m}(\theta_2, \theta_1) & \hat{m}(\theta_2, \theta_2) \end{pmatrix} \right) \hat{i} \right\} \quad (1)$$

$$\hat{v} = \begin{pmatrix} v_{u1} \\ v_{v1} \\ v_{w1} \\ v_{u2} \\ v_{v2} \\ v_{w2} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\hat{i} = \begin{pmatrix} i_{u1} \\ i_{v1} \\ i_{w1} \\ i_{u2} \\ i_{v2} \\ i_{w2} \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\hat{v}_m = \omega \hat{\psi}_m \begin{pmatrix} \sin \theta_1 \\ \sin(\theta_1 - \frac{2\pi}{3}) \\ \sin(\theta_1 + \frac{2\pi}{3}) \\ \sin \theta_2 \\ \sin(\theta_2 - \frac{2\pi}{3}) \\ \sin(\theta_2 + \frac{2\pi}{3}) \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$\hat{m}(x, y)|_{ij} = \hat{L}_d \cos x_i \cos y_j + \hat{L}_q \sin x_i \sin y_j \quad (i = 1, 2, 3, j = 1, 2, 3) \quad (5)$$

$$x_1 = x$$

$$x_2 = x - \frac{2\pi}{3}$$

$$x_3 = x + \frac{2\pi}{3}$$

$$y_1 = y$$

$$y_2 = y - \frac{2\pi}{3}$$

$$y_3 = y + \frac{2\pi}{3}$$

【0028】

ここで、式(1)における \hat{v} 、 R 、 \hat{i} 、 \hat{v}_m 、 \hat{L}_a 、 $\hat{m}(\theta_1, \theta_1)$ 、 $\hat{m}(\theta_1, \theta_2)$ 、 $\hat{m}(\theta_2, \theta_1)$ 、 $\hat{m}(\theta_2, \theta_2)$ は、それぞれスター結線の端子電圧、コイル抵抗、コイルの相電流、磁石による磁束により生じる電圧、コイルの漏れ磁束、Y1結線のコイル間のインダクタンス、Y2結線の電流によりY1結線のコイルに生じる磁束のインダクタンス、Y1結線の電流によりY2結線のコイルに生じる磁束のインダクタンス、Y2結線のコイル間のインダクタンスである。

【 0 0 2 9 】

また、式 (2)、(3) の右辺のベクトル内各要素の添え字は、数字の 1, 2 が Y 1, Y 2 の結線をあらわし、u, v, w が各スター結線内の U 相, V 相, W 相を表す。例えば、 v_{u1} は、Y 1 結線の U 相の端子電圧を表している。また、(5) 式で \hat{L}_d , \hat{L}_q は d q 軸のインダクタンスを表す。

【 0 0 3 0 】

なお、式 (5) で用いた $\hat{m}(x, y) | i, j$ は、マトリクス $\hat{m}(x, y)$ の i 行 j 列の要素を示す。

【 0 0 3 1 】

[6 相モータのオブザーバ]

以下に、上述のような 6 相モータのオブザーバについて説明する。

【 0 0 3 2 】

(各相間において干渉がある場合)

まず、6 相モータの状態方程式である式 (1) を d q 軸に変換することで、式 (6)、(14) となる。

【 0 0 3 3 】

式 (1) はモータが有効に使えるトルクに寄与する電流成分であり、式 (14) はモータが有効に使えるトルクに寄与しない電流成分である。ここで、 i_{d1} , i_{d2} , i_{q1} , i_{q2} , v_{d1} , v_{d2} , v_{q1} , v_{q2} , ϕ_m , $i_{\gamma 12}$, $v_{\gamma 1}$, $v_{\gamma 2}$ は、それぞれ、Y 1 結線の d 軸電流、Y 2 結線の d 軸電流、Y 1 結線の q 軸電流、Y 2 結線の q 軸電流、Y 1 結線の d 軸電圧、Y 2 結線の d 軸電圧、Y 1 結線の q 軸電圧、Y 2 結線の q 軸電圧、磁石による起電力係数 (V_s / rad)、零相電流、Y 1 のスター結線の中点電位、Y 2 のスター結線の中点電位を表し、 L_d , L_q は d q 軸のインダクタンスを表し、 \hat{L}_d , \hat{L}_q には係数倍の関係がある。なお、 ω は電気角速度 (rad / s) である。

【 0 0 3 4 】

【数 2】

$$\frac{d}{dt} \bar{x} = \bar{A}(\omega) \bar{x} + \bar{B}_u \bar{u} - \bar{B}_v \bar{v} \quad (6)$$

$$\bar{x} = \begin{pmatrix} i_{d1} \\ i_{d2} \\ i_{q1} \\ i_{q2} \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\bar{u} = \begin{pmatrix} v_{d1} \\ v_{d2} \\ v_{q1} \\ v_{q2} \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$\bar{v} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega \psi_m \\ \omega \psi_m \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$\bar{A}(\omega) = \begin{pmatrix} \frac{-R}{\delta_d l_a} \begin{pmatrix} L_d + l_a & -L_d \\ -L_d & L_d + l_a \end{pmatrix} & \frac{\omega}{\delta_d} \begin{pmatrix} L_d + L_q + l_a & L_q - L_d \\ L_q - L_d & L_d + L_q + l_a \end{pmatrix} \\ \frac{-\omega}{\delta_q} \begin{pmatrix} L_d + L_q + l_a & L_d - L_q \\ L_d - L_q & L_d + L_q + l_a \end{pmatrix} & \frac{-R}{\delta_q l_a} \begin{pmatrix} L_q + l_a & -L_q \\ -L_q & L_q + l_a \end{pmatrix} \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$\bar{B}_u = \begin{pmatrix} \frac{1}{\delta_d l_a} \begin{pmatrix} L_d + l_a & -L_d \\ -L_d & L_d + l_a \end{pmatrix} & \phi_{2 \times 2} \\ \phi_{2 \times 2} & \frac{1}{\delta_q l_a} \begin{pmatrix} L_q + l_a & -L_q \\ -L_q & L_q + l_a \end{pmatrix} \end{pmatrix} \quad (11)$$

$$\delta_d = 2L_d + l_a \quad (12)$$

$$\delta_q = 2L_q + l_a \quad (13)$$

$$\frac{d}{dt} x_z = a x_z + b_u u_z \quad (14)$$

$$x_z = i_{\gamma 12} \quad (15)$$

$$u_z = v_{\gamma 1} - v_{\gamma 2} \quad (16)$$

$$a = -\frac{R}{l_a} \quad (17)$$

$$b_u = \frac{1}{l_a} \quad (18)$$

推定対象は式(6)と式(14)であるが、これらは独立であるので、個別に考える必要がある。

【0035】

まず、式(6)は、角速度を一定と仮定すれば、通常の線形モデルなので一般のオブザーバが利用できる。なお、モータの定常回転を考えればこの仮定は成立する。また、モータに慣性負荷がある場合には、モータの回転慣性が大きく、角速度変化が電流変化に対して十分大きいいため上記仮定は成立すると考えられる。

【0036】

次に、これら2つの状態方程式の可観測性を検討する。式(6)の可観測性を、 $L_d = 0.2486 \text{ mH}$, $L_q = 0.5695 \text{ mH}$, $l_a = 0.19 \text{ mH}$, $R = 46.5 \text{ m}\Omega$, $\phi_m = 0.0516 \text{ V/(rad/s)}$, 4極対, ロータ回転数 3000 rpm ($\omega = 1257 \text{ rad/s}$) の特性のモータで考えてみる。

【0037】

まず、1つの電流だけ観測できる条件を考える。すなわち、観測行列としては、 $C = (1 \ 0 \ 0 \ 0)$, $C = (0 \ 1 \ 0 \ 0)$, $C = (0 \ 0 \ 1 \ 0)$, $C = (0 \ 0 \ 0 \ 1)$ である。この諸元では、 $-A(\omega)$ と C は可観測対であり、式(6)は可観測である。

【0038】

一方、モータは、抵抗値を極力抑えるように設計されるので、 $R = 0$ の場合についても可観測性の確認をしておく。まず、1つの電流だけ観測できる条件を考える。すなわち、観測行列としては、 $C = (1 \ 0 \ 0 \ 0)$, $C = (0 \ 1 \ 0 \ 0)$, $C = (0 \ 0 \ 1 \ 0)$, $C = (0 \ 0 \ 0 \ 1)$ である。この諸元では、 $-A(\omega)$ と C は可観測対でないので、式(6)は可観測でない。

【0039】

次に、 $R = 0$ の場合における2つの電流が観測できる条件を考える。すなわち、観測行列としては、 $C = (1 \ 1 \ 0 \ 0)$, $C = (1 \ 0 \ 1 \ 0)$, $C = (1 \ 0 \ 0 \ 1)$, $C = (1 \ 0 \ 0 \ 1)$ である。この諸元では、 $-A(\omega)$ と C は可観測対であり、式(6)は可観測である。

【0040】

実際のモータにおける推定を考えると、抵抗 R の大きさにより、1つの電流を観測するか2つの電流を観測するかという上記2つの条件を使い分ける必要があると考えられる。

【0041】

他方、式(14)であるが、これは状態量が1つなので直接計る他はない。

【0042】

改めて、推定対象である式 (6) について考え、次の式 (19) のように書き換える。

【数 3】

$$\frac{d}{dt}x = A(\omega)x + B_u u + B_v v \quad (19)$$

$$x = \begin{pmatrix} i_{d1} \\ i_{d2} \\ i_{q1} \\ i_{q2} \end{pmatrix} \quad (20)$$

$$u = \begin{pmatrix} v_{d1} \\ v_{d2} \\ v_{q1} \\ v_{q2} \end{pmatrix} \quad (21)$$

$$v = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega\psi_m \\ \omega\psi_m \end{pmatrix} \quad (22)$$

$$A(\omega) = \bar{A}(\omega) \quad (23)$$

$$B_u = \bar{B}_u \quad (24)$$

$$B_v = -\bar{B}_u \quad (25)$$

【 0 0 4 3】

ここで、観測できる値が相電流 y なので、観測ノイズを w としシステムの出力を式 (26) で与えれば、式 (28) のようにオブザーバを組むことができる。ここで、 C は n_c 行 6 列の行列 ($n_c = 1, 2$) である。

【 0 0 4 4】

【数 4】

$$y = Cx_p + w \quad (26)$$

$$x_p = \begin{pmatrix} i_{u1} \\ i_{v1} \\ i_{w1} \\ i_{u2} \\ i_{v2} \\ i_{w2} \end{pmatrix} \quad (27)$$

$$\frac{d}{dt}x_e = A(\omega)x_e + \tilde{L}(y - CT'_e(\theta_1, \theta_2)x_e) + B_u u + B_v v \quad (28)$$

$$T_e(\theta_1, \theta_2) = \begin{pmatrix} t(\theta_1)\tilde{t} & \phi_{2 \times 3} \\ \phi_{2 \times 3} & t(\theta_2)\tilde{t} \end{pmatrix} \quad (29)$$

$$\tilde{t} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{pmatrix} \quad (30)$$

ここで、 x_p の推定値を x_e とする。

【0 0 4 5】

ところが、このままでは、オブザーバゲイン \hat{L} が決められないので、さらに $\hat{L} = L(\omega) T_a(\theta)$ を導入し、式 (28) を式 (31) のように書き換える。

【数 5】

$$\frac{d}{dt}x_e = A(\omega)x_e + L(\omega)(T_a(\theta)y - T_a(\theta)CT'_e(\theta_1, \theta_2)x_e) + B_u u + B_v v \quad (31)$$

【0 0 4 6】

ここで、 $T_a(\theta)CT'_e(\theta_1, \theta_2)$ が θ によらず、一定になるように、 $T_a(\theta)C$ を選べれば、システムへの入力を $T_a(\theta)y$ と見なした線形オブザーバになる。

【0 0 4 7】

まず、観測量が 2 つの場合を考える。

【0 0 4 8】

$$T_a(\theta) = t(\theta) \quad (32)$$

と仮定し、 C の前 3 列を C_1 、後ろ 2 列を C_2 、すなわち、 $C = (C_1, C_2)$

とすれば、上記条件は、以下のように書き換えられる。

【数6】

$$T_a(\theta)CT'_e(\theta_1, \theta_2) = \begin{pmatrix} t(\theta)C_1\hat{t}'(\theta_1) & t(\theta)C_2\hat{t}'(\theta_2) \end{pmatrix} \quad (33)$$

【0049】

ここで、 $C1 \hat{t}' = \alpha 1 I 2$ かつ $C2 \hat{t}' = \alpha 2 I 2$ ($\alpha 1$ と $\alpha 2$ は定数)であれば、 $T_a(\theta)CTe'(\theta_1, \theta_2)$ は定数行列である。 $C1 = \hat{t}$ 、 $C2 = \hat{t}$ もこれら条件を満たす1つの解ではある。しかし、この解は、全ての相の電流を観測することとなり、オブザーバを用いる意味がない。ここでは、次のようにCを、式(34)のようにした。

【数7】

$$C = \begin{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{2}{\sqrt{3}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{2}{\sqrt{3}} & 0 \end{pmatrix} \end{pmatrix} \quad (34)$$

【0050】

この時、 $Te'(\theta_1, \theta_2)$ は式(29)より式(35)のように整理できる。さらに、 $CTe'(\theta_1, \theta_2)$ は式(34)、(35)より式(37)のように整理できる。また、 $T_a(\theta_1, \theta_2)CTe'(\theta_1, \theta_2)$ は式(32)、(37)より式(38)のように整理できる。ただし、 $I 2$ は2行2列の単位行列である。

【数8】

$$T'_e(\theta_1, \theta_2) = \begin{pmatrix} m_{cs}(\theta_1) & \phi_{3 \times 2} \\ \phi_{3 \times 2} & m_{cs}(\theta_2) \end{pmatrix} \quad (35)$$

$$m_{cs}(\theta) = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{4\pi}{3}) \end{pmatrix} \quad (36)$$

$$CT'_e(\theta_1, \theta_2) = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} t'(\theta_1) & t'(\theta_2) \end{pmatrix} \quad (37)$$

$$T_a(\theta)CT'_e(\theta_1, \theta_2) = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} I_2 & t(\theta_1 - \theta_2) \\ t'(\theta_1 - \theta_2) & I_2 \end{pmatrix} \quad (38)$$

【0051】

ここで、 $\theta_1 - \theta_2$ は一定値であり、式(38)より $T_a(\theta)CTe'(\theta$

1, $\theta 2$) は一定値となる。ここで、 $C_t = T_a(\theta) C T_e'(\theta 1, \theta 2)$ とし、入力を $y_t = T_a(\theta) y$ とすれば、式 (31) は次の式 (39) の線形オブザーバとなる。

【数 9】

$$\frac{d}{dt} x_e = A(\omega) x_e + L(\omega) (y_t - C_t x_e) + B_u u + B_v v \quad (39)$$

【0052】

なお、実際のオブザーバは、相電流 i_{u1} と相電流 i_{u2} との両方を一括して測定し、相電流 i_{v1} と相電流 i_{v2} との両方も一括して測定し、観測量 $\sim y$ を以下のようにとる。

【数 10】

$$\bar{y} = \begin{pmatrix} i_{u1} + i_{u2} \\ i_{v1} + i_{v2} \end{pmatrix} + \bar{w} \quad (40)$$

【0053】

そして、この電流測定値を以下のように用いてオブザーバを構成する。

【数 11】

$$\frac{d}{dt} x_e = A(\omega) x_e + L(\omega) (T_a(\theta) y - C_t x_e) + B_u u + B_v v \quad (41)$$

$$y = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1/\sqrt{3} & 2/\sqrt{3} \end{pmatrix} \bar{y} + w \quad (42)$$

【0054】

このように、式 (41) (42) の線形オブザーバを利用することによって、 $i_{u1} + i_{u2}$ と、 $i_{v1} + i_{v2}$ を観測することで、モータの状態を認識することができる。そこで、3つの3相コイルを有するモータについて、2つの電流値の計測によって、モータの状態を検出し、モータ駆動電流を制御することができる。

【0055】

次に、観測量が1つの場合を考える。 $T_a(\theta) C T_e'(\theta 1, \theta 2)$ が θ によらず一定となるような $T_a(\theta) C$ があるか無いかを検討する。

【0056】

【数 1 2】

$$\begin{aligned}
 T_a(\theta)CT'_e(\theta_1, \theta_2) &= T_a(\theta) \begin{pmatrix} C_1 & C_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} m_{cs}(\theta_1) & \phi_{3 \times 2} \\ \phi_{3 \times 2} & m_{cs}(\theta_2) \end{pmatrix} \\
 &= T_a(\theta) \begin{pmatrix} C_1 m_{cs}(\theta_1) & C_2 m_{cs}(\theta_2) \end{pmatrix}
 \end{aligned} \tag{43}$$

式 (4 3) はスカラー関数で、 C_1 と C_2 は 1 行 3 列の定数行列だから、これを定数行列にする $T_a(\theta)$ を見つけることは容易ではない。すなわち、線形オブザーバの適用は容易ではない。

【0 0 5 7】

改めて、式 (2 8) のオブザーバを考えてみる。ここでは、非線形オブザーバ理論の適用によりゲイン \hat{L} を $\sim L(\theta, \omega)$ としてオブザーバを以下のように組む必要がある。

【数 1 3】

$$\frac{d}{dt}x_e = A(\omega)x_e + \hat{L}(\theta, \omega)(y - CT'_e(\theta_1, \theta_2)x_e) + B_u u + B_v v \tag{44}$$

【0 0 5 8】

このように、非線形オブザーバを利用することによって、検出する電流は、1 つでよいことになる。

【0 0 5 9】

また、式 (1 4) の零相電流については、別途検出する必要がある。

【0 0 6 0】

結局、6 相モータを駆動するために必要な情報を得るためには、以下の方法が考えられる。

【0 0 6 1】

まず、2 つの 3 相コイルの中性点同士が接続されているシステムにおいては、次の 2 つが採用できる。

【0 0 6 2】

(1) 零相を測定するとともに、他に 2 つのセンサを使い電流 ($i_{u1} + i_{u2}$ 、 $i_{v1} + i_{v2}$) 電流を測定し、線形オブザーバを組み合わせる。

【0 0 6 3】

具体的には、図 2 に示すように、3 つのセンサ ($sensor1 \sim sensor3$) を設け、加算相電流 $i_{u1} + i_{u2}$ 、 $i_{v1} + i_{v2}$ と、零相電流を測定する。

【 0 0 6 4 】

(2) 零相を測定し、他に 1 つのセンサを使い電流を測定し、非線形オブザーバを組み合わせる。

【 0 0 6 5 】

具体的には、図 3 に示すように、2 つのセンサ ($sensor1$, $sensor2$) を設け、加算相電流 $i_{u1} + i_{u2}$ と零相電流を測定する。

【 0 0 6 6 】

また、中性点同士が接続されていない独立した 3 相コイルが 2 つ設けられた 3 相モータを 2 つ組み入れた構成のモータでは、次の 2 つが採用できる。

【 0 0 6 7 】

(1) 2 つのセンサを使い電流 ($i_{u1} + i_{u2}$ 、 $i_{v1} + i_{v2}$) を測定し、線形オブザーバを組み合わせる。

【 0 0 6 8 】

具体的には、図 4 に示すように、2 つのセンサ ($sensor1$, $sensor2$) を設け、加算相電流 $i_{u1} + i_{u2}$ 、 $i_{v1} + i_{v2}$ を測定する。

【 0 0 6 9 】

(2) 1 つのセンサを使い電流を測定し、非線形オブザーバを組み合わせる。

【 0 0 7 0 】

具体的には、図 5 に示すように、1 つのセンサ ($sensor1$) を設け、加算相電流 $i_{u1} + i_{u2}$ を測定する。

【 0 0 7 1 】

(相間での干渉がない場合)

次に、1 つのスター結線 1 Y と他のスター結線 2 Y との間に干渉がない場合について説明する。この場合、6 相モータ状態方程式は、式 (4 5)、(4 6) となる。

【数 1 4】

$$\frac{d}{dt}\bar{x} = \bar{A}(\omega)\bar{x} + \bar{B}_u\bar{u} - \bar{B}_v\bar{v} \quad (45)$$

$$\bar{x} = \begin{pmatrix} i_{d1} \\ i_{d2} \\ i_{q1} \\ i_{q2} \end{pmatrix} \quad (46)$$

$$\bar{u} = \begin{pmatrix} v_{d1} \\ v_{d2} \\ v_{q1} \\ v_{q2} \end{pmatrix} \quad (47)$$

$$\bar{v} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega\psi_m \\ \omega\psi_m \end{pmatrix} \quad (48)$$

$$\bar{A}(\omega) = \begin{pmatrix} -\frac{R}{L_d}\mathbf{I}_2 & \omega\frac{L_q}{L_d}\mathbf{I}_2 \\ -\omega\frac{L_d}{L_q}\mathbf{I}_2 & -\frac{R}{L_q}\mathbf{I}_2 \end{pmatrix} \quad (49)$$

$$\bar{B}_u = \begin{pmatrix} \frac{1}{L_d}\mathbf{I}_2 & \phi_{2 \times 2} \\ \phi_{2 \times 2} & \frac{1}{L_q}\mathbf{I}_2 \end{pmatrix} \quad (50)$$

$$\frac{d}{dt}x_z = -\frac{R}{l_a}x_z + \frac{1}{l_a}u_z \quad (51)$$

$$x_z = i_{\gamma 12} \quad (52)$$

$$u_z = v_{\gamma 1} - v_{\gamma 2} \quad (53)$$

【 0 0 7 2】

推定対象は式(45)と式(51)であるが、これらは独立であるので、個別に考える必要がある。また、式(45)も1つ目のスター結線1Yと2つ目のスター結線2Yとも独立であり個別に考える必要がある。

【 0 0 7 3】

まず、式(45)は角速度を一定と仮定すれば、通常の線形モデルなので一般のオブザーバが利用できる。なお、モータの定常回転を考えればこの仮定は成立する。また、モータに慣性負荷がある場合には、モータの回転慣性が大きく、角速度変化が電流変化に対して十分大きいとため上記仮定は成立すると考えられる。

【 0 0 7 4】

次に、これら2つの状態方程式の可観測性を検討する。

【 0 0 7 5】

式(45)の可観測性を、 $L_d = 0.2486 \text{ mH}$, $L_q = 0.5695 \text{ mH}$, $L_a = 0.19 \text{ mH}$, $R = 46.5 \text{ m}\Omega$, $\phi_m = 0.0516 \text{ V/(rad/s)}$, 4極対, ロータ回転数 3000 rpm ($\omega = 1257 \text{ rad/s}$) の特性のモータで考えてみる。

【0076】

式(45)は、独立な2つの状態方程式を含んでいるので、観測行列としては、次のようにすることは明らかに不適である。

【数15】

$$C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, C = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

【0077】

また、可観測性を調べると、 $C = (1 \ 0 \ 1 \ 0)$ 、 $C = (1 \ 0 \ 0 \ 1)$ 等も不適である。また、独立な各々の可観測性は、 R が0の場合でも、1つの状態量のみ測定できれば可観測となる。すなわち、観測行列としては、次のようなものが採用される。

【数16】

$$C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

【0078】

この諸元では、 $-A(\omega)$ と C は可観測対であり、式(45)は可観測である。

【0079】

他方、式(14)であるが、これは状態量が1つなので直接計る他はない。

【0080】

改めて、推定対象である式(45)について考え、次の式(54)～(60)のように書き換える。

【数 1 7】

$$\frac{d}{dt}x = A(\omega)x + B_u u + B_v v \quad (54)$$

$$x = \begin{pmatrix} i_{d1} \\ i_{d2} \\ i_{q1} \\ i_{q2} \end{pmatrix} \quad (55)$$

$$u = \begin{pmatrix} v_{d1} \\ v_{d2} \\ v_{q1} \\ v_{q2} \end{pmatrix} \quad (56)$$

$$v = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega\psi_m \\ \omega\psi_m \end{pmatrix} \quad (57)$$

$$A(\omega) = \bar{A}(\omega) \quad (58)$$

$$B_u = \bar{B}_u \quad (59)$$

$$B_v = -\bar{B}_u \quad (60)$$

【 0 0 8 1】

ここで、観測できる値が相電流 y なので、観測ノイズを w としシステムの出力を式 (61) で与えれば、式 (63) のようにオブザーバを組むことができる。

ここで、可観測性を考慮し、 C は 2 行 6 列の行列である。

【数 1 8】

$$y = Cx_p + w \quad (61)$$

$$x_p = \begin{pmatrix} i_{u1} \\ i_{v1} \\ i_{w1} \\ i_{u2} \\ i_{v2} \\ i_{w2} \end{pmatrix} \quad (62)$$

$$\frac{d}{dt}x_e = A(\omega)x_e + \hat{L}(y - CT'_e(\theta_1, \theta_2)x_e) + B_u u + B_v v \quad (63)$$

$$T_e(\theta_1, \theta_2) = \begin{pmatrix} t(\theta_1)\bar{t} & \phi_{2 \times 3} \\ \phi_{2 \times 3} & t(\theta_2)\bar{t} \end{pmatrix} \quad (64)$$

$$\bar{t} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{pmatrix} \quad (65)$$

【 0 0 8 2】

ところが、このままでは、オブザーバゲイン \hat{L} が決められないので、さらに $\hat{L} = L(\omega) T_a(\theta)$ を導入し、式 (63) を式 (66) のように書き換える。

【数 19】

$$\frac{d}{dt} x_e = A(\omega) x_e + L(\omega) (T_a(\theta) y - T_a(\theta) C T_e'(\theta_1, \theta_2) x_e) + B_u u + B_v v \quad (66)$$

【0083】

ここで、 $T_a(\theta) C T_e'(\theta_1, \theta_2)$ が θ によらず、一定になるように、 $T_a(\theta) C$ を選べれば、システムへの入力を $T_a(\theta) y$ と見なした線形オブザーバになる。

【0084】

まず、

$$T_a(\theta) = t(\theta) \quad (67)$$

と仮定し、 C の前 3 列を C_1 、後ろ 2 列を C_2 、すなわち、 $C = (C_1, C_2)$ とすれば、上記条件は、以下のように書き換えられる。

【数 20】

$$T_a(\theta) C T_e'(\theta_1, \theta_2) = \begin{pmatrix} t(\theta) C_1 \hat{t}'(\theta_1) & t(\theta) C_2 \hat{t}'(\theta_2) \end{pmatrix} \quad (68)$$

【0085】

ここで、 $C_1 \hat{t}' = \alpha_1 I_2$ かつ $C_2 \hat{t}' = \alpha_2 I_2$ (α_1 と α_2 は定数) であれば、 $T_a(\theta) C T_e'(\theta_1, \theta_2)$ は定数行列である。上述の場合と同様に、 C を、式 (69) のようにすることとした。

【数 21】

$$C = \begin{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{2}{\sqrt{3}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{2}{\sqrt{3}} & 0 \end{pmatrix} \end{pmatrix} \quad (69)$$

【0086】

この C に対し、上述の場合と同様に、 $T_a(\theta) C T_e'(\theta_1, \theta_2)$ は一定値となる。ここで、 $C t = T_a(\theta) C T_e'(\theta_1, \theta_2)$ とし、入力を y

$t = T a(\theta) y$ とすれば、式 (66) は次式の線形オブザーバとなる。

【数 2 2】

$$\frac{d}{dt} x_e = A(\omega) x_e + L(\omega) (y_t - C_t x_e) + B_u u + B_v v \quad (70)$$

【0 0 8 7】

なお、実際のオブザーバは、相電流 i_{u1} と相電流 i_{u2} との両方を一括して測定し、相電流 i_{v1} と相電流 i_{v2} との両方も一括して測定し、観測量 $\sim y$ を以下のようにとる。

【数 2 3】

$$\bar{y} = \begin{pmatrix} i_{u1} + i_{u2} \\ i_{v1} + i_{v2} \end{pmatrix} + \bar{w} \quad (71)$$

【0 0 8 8】

そして、この電流測定値を以下のように用いてオブザーバを構成する。

【数 2 4】

$$\frac{d}{dt} x_e = A(\omega) x_e + L(\omega) (T_a(\theta) y - C_t x_e) + B_u u + B_v v \quad (72)$$

$$y = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1/\sqrt{3} & 2/\sqrt{3} \end{pmatrix} \bar{y} + w \quad (73)$$

【0 0 8 9】

このように、式 (72) (73) の線形オブザーバを利用することによって、 $i_{u1} + i_{u2}$ と、 $i_{v1} + i_{v2}$ を観測することで、モータの状態を認識することができる。

【0 0 9 0】

結局、6相モータを駆動するために必要な情報を得るためには、以下の方法が考えられる。

【0 0 9 1】

(1) 零相電流を測定し、他に2つのセンサを使い電流 ($i_{u1} + i_{u2}$ 、 $i_{v1} + i_{v2}$) 電流を測定し、線形オブザーバを組み合わせる。

【0 0 9 2】

具体的には、図6に示すように、2つのセンサ ($sensor1 \sim sensor$

r 3) を設け、加算相電流 $i_{u1} + i_{u2}$ 、 $i_{v1} + i_{v2}$ と零相電流を測定する。

【0093】

(2) 2つのセンサを使い電流を測定し、線形オブザーバを組み合わせる。

【0094】

具体的には、図7に示すように、加算相電流 $i_{u1} + i_{u2}$ と零相電流を測定する。

【0095】

(その他の構成)

ここまでの説明は、図8に示すような独立な2台のモータ（回転数も特性も異なる）についても成立するし、図9に示す3台のモータ（回転数も特性も異なる）についても成立する。

【0096】

そこで、3台のモータの場合について、説明する。まず、推定対象を次式のよう書き換える。

【数25】

$$\frac{d}{dt}x = A(\omega)x + B_u u + B_v v \quad (74)$$

$$x = \begin{pmatrix} i_{d1} \\ i_{d2} \\ i_{d3} \\ i_{q1} \\ i_{q2} \\ i_{q3} \end{pmatrix} \quad (75)$$

$$u = \begin{pmatrix} v_{d1} \\ v_{d2} \\ v_{d3} \\ v_{q1} \\ v_{q2} \\ v_{q3} \end{pmatrix} \quad (76)$$

$$v = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \omega\psi_m \\ \omega\psi_m \\ \omega\psi_m \end{pmatrix} \quad (77)$$

【0097】

ここで、観測できる値が相電流 y なので、観測ノイズを w としシステムの出力を式 (78) で与えれば、式 (80) のようにオブザーバを組むことができる。

ここで、可観測性を考慮し、 C は 2 行 9 列の行列である。

【数 26】

$$y = Cx_p + w \quad (78)$$

$$x_p = \begin{pmatrix} i_{u1} \\ i_{v1} \\ i_{w1} \\ i_{u2} \\ i_{v2} \\ i_{w2} \\ i_{u3} \\ i_{v3} \\ i_{w3} \end{pmatrix} \quad (79)$$

$$\frac{d}{dt}x_e = A(\omega)x_e + \hat{L}(y - CT_e'(\theta_1, \theta_2)x_e) + B_u u + B_v v \quad (80)$$

$$T_e(\theta_1, \theta_2, \theta_3) = \begin{pmatrix} t(\theta_1)\bar{t} & \phi_{2 \times 3} & \phi_{2 \times 3} \\ \phi_{2 \times 3} & t(\theta_2)\bar{t} & \phi_{2 \times 3} \\ \phi_{2 \times 3} & \phi_{2 \times 3} & t(\theta_3)\bar{t} \end{pmatrix} \quad (81)$$

【0098】

ところが、このままでは、オブザーバゲイン \hat{L} が決められないので、さらに $\hat{L} = L(\omega) T_a(\theta)$ を導入し、式 (80) を式 (82) のように書き換える。

【数 27】

$$\frac{d}{dt}x_e = A(\omega)x_e + L(\omega)(T_a(\theta)y - T_a(\theta)CT_e'(\theta_1, \theta_2, \theta_3)x_e) + B_u u + B_v v \quad (82)$$

【0099】

ここで、 $T_a(\theta)CT_e'(\theta_1, \theta_2)$ が θ によらず、一定になるように、 $T_a(\theta)C$ を選べれば、システムへの入力を $T_a(\theta)y$ と見なした線形オブザーバになる。

【0100】

まず、

$$T_a(\theta) = t(\theta) \quad (83)$$

と仮定し、Cの前3列をC1、真中3列をC2、後ろ3列をC3、すなわち、 $C = (C1, C2, C3)$ とすれば、上記条件は、以下のように書き換えられる。

【数28】

$$T_a(\theta)CT'_e(\theta_1, \theta_2, \theta_3) = \begin{pmatrix} t(\theta)C_1\hat{t}'(\theta_1) & t(\theta)C_2\hat{t}'(\theta_2) & t(\theta)C_3\hat{t}'(\theta_3) \end{pmatrix} \quad (84)$$

【0101】

ここで、 $C1 \hat{t}' = \alpha_1 I_2$ かつ $C2 \hat{t}' = \alpha_2 I_2$ かつ $C3 \hat{t}' = \alpha_3 I_2$ (α_1 、 α_2 と α_3 は定数)であれば、 $T_a(\theta)CT_e'(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$ は定数行列である。ここでは、Cを、式(85)のようにすることとした。

【数29】

$$C = \begin{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{2}{\sqrt{3}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{2}{\sqrt{3}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{2}{\sqrt{3}} & 0 \end{pmatrix} \end{pmatrix} \quad (85)$$

【0102】

このCに対し、上述の場合と同様に、 $T_a(\theta)CT_e'(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$ は一定値となる。ここで、 $Ct = T_a(\theta)CT_e'(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$ とし、入力を $y_t = T_a(\theta)y$ とすれば、式(82)は次式の線形オブザーバとなる。

【数30】

$$\frac{d}{dt}x_e = A(\omega)x_e + L(\omega)(y_t - C_t x_e) + B_u u + B_v v \quad (86)$$

【0103】

なお、実際のオブザーバは、相電流 $i_{u1} + i_{u2} + i_{u3}$ を一括して測定し、相電流 $i_{v1} + i_{v2} + i_{v3}$ も一括して測定し、観測量 y を以下のようにとる。

【数 3 1】

$$\tilde{y} = \begin{pmatrix} i_{u1} + i_{u2} + i_{u3} \\ i_{v1} + i_{v2} + i_{v3} \end{pmatrix} + \tilde{w} \quad (87)$$

【0 1 0 4】

そして、この電流測定値を以下のように用いてオブザーバを構成する。

【数 3 2】

$$\frac{d}{dt}x_e = A(\omega)x_e + L(\omega)(T_s(\theta)y - C_tx_e) + B_uu + B_vv \quad (88)$$

$$y = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1/\sqrt{3} & 2/\sqrt{3} \end{pmatrix} \tilde{y} + w \quad (89)$$

【0 1 0 5】

このように、式(88)(89)の線形オブザーバを利用することによって、 $i_{u1} + i_{u2} + i_{u3}$ と、 $i_{v1} + i_{v2} + i_{v3}$ を観測することで、モータの状態を認識することができる。

【0 1 0 6】

結局、3つの独立したモータを駆動するために必要な情報を得るためには、次の方法が考えられる。

【0 1 0 7】

(1) 2つのセンサを使い電流($i_{u1} + i_{u2} + i_{u3}$ 、 $i_{v1} + i_{v2} + i_{v3}$)を測定し、線形オブザーバを組み合わせる。

【0 1 0 8】

具体的には、図9に示すように、2つのセンサ(sensor1, sensor2)を設け、加算相電流 $i_{u1} + i_{u2} + i_{u3}$ 、 $i_{v1} + i_{v2} + i_{v3}$ を測定する。

【0 1 0 9】

また、上述の例では、加算相電流を計測したが、一方の3相コイルの電流のみを検出し、これによってオブザーバの入力を構成してもよい。

【0 1 1 0】

(推定結果)

図10に推定結果を示す。この図は、通常の6相モータを対象に、1つ目のス

ター結線の d q 軸電流を示している。図中、1 段目が i_{d1} の実際の値と目標値（破線）、2 段目が i_{d1} の推定値、実際の値と目標値（破線）、3 断面が i_{q1} の実際の値と目標値（破線）、4 段目が i_{d1} の推定値、実際の値と目標値（破線）を示している。 i_{d1} において急峻に電流が変化しているとき（2 段目、 $t = 0.085$ s 付近）には、数 A の推定誤差が生じているが、誤差の低減も早く、また他の部分ではほとんど誤差が確認できない。すなわち、本実施形態のオブザーバを用いれば、十分な精度で電流値を推定できることが確認された。

【0 1 1 1】

以上のように、オブザーバを用いてモータの状態を推定することで、検出する電流の数を減少することができ、システムを簡略化することができる。

【0 1 1 2】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明では、モータモデルあるいはモータの状態を表すモデルを用いてモータ電流を推定するため、3 相コイルのような多相コイルの電流の検出する数を減少できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 6 相モータの構成を示す図である。

【図 2】 零相電流がある場合における電流センサの配置例（3 つ）を示す図である。

【図 3】 零相電流がある場合における電流センサの配置例（2 つ）を示す図である。

【図 4】 零相電流がない場合における電流センサの配置例（2 つ）を示す図である。

【図 5】 零相電流がない場合における電流センサの配置例（1 つ）を示す図である。

【図 6】 干渉が 2 つの 3 相コイルであって、零相電流がある場合における電流センサの配置例（3 つ）を示す図である。

【図 7】 干渉が 2 つの 3 相コイルであって、零相電流がある場合における電流センサの配置例（2 つ）を示す図である。

【図 8】 2つの3相モータについての電流センサの配置例（2つ）を示す図である。

【図 9】 3つの3相モータについての電流センサの配置例（2つ）を示す図である。

【図 1 0】 離散系オブザーバにおける推定性能を示す図である。

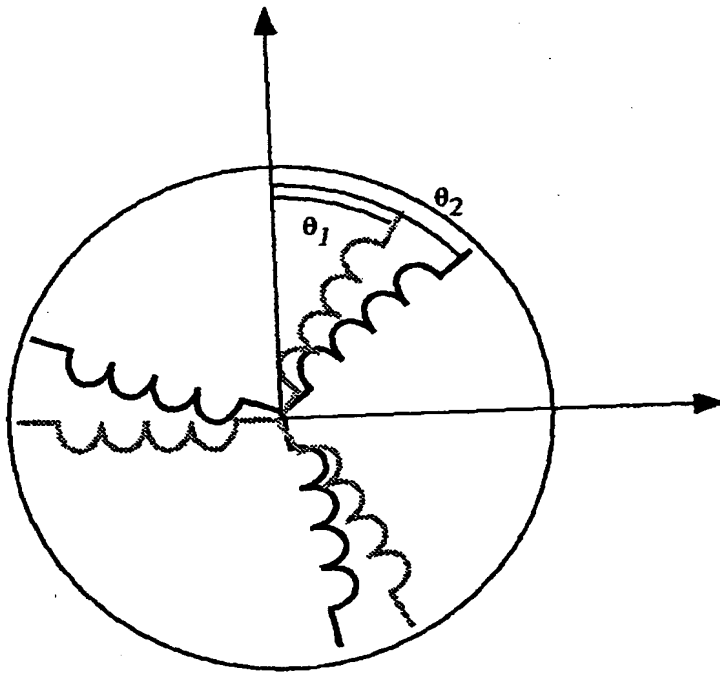
【図 1 1】 6相モータの基本的構成を示す図である。

【符号の説明】

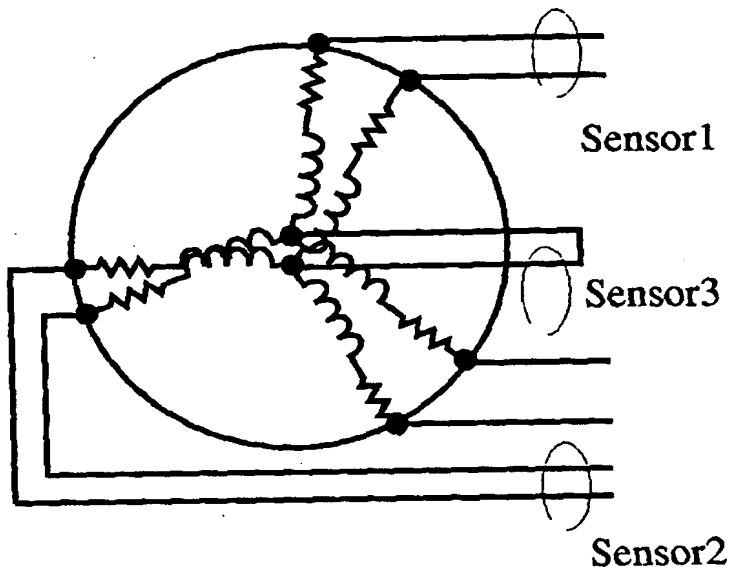
B バッテリ、Y 1, Y 2 3相コイル、M モータ、I N V 1, I N V 2
インバータ、C O N コントローラ。

【書類名】 図面

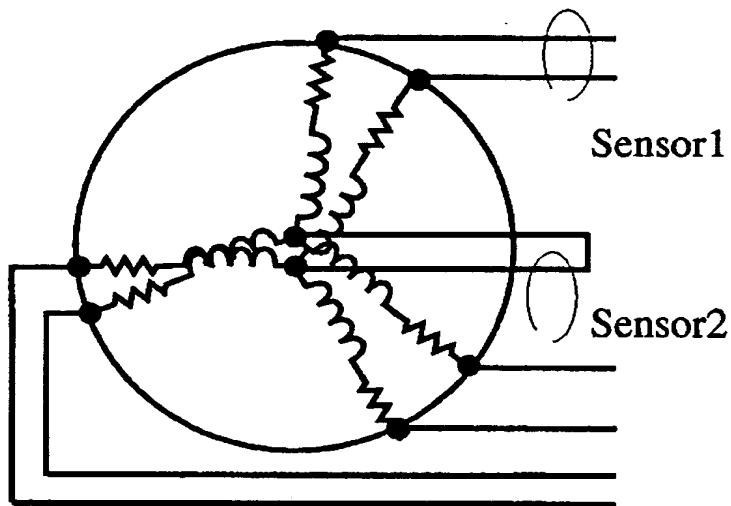
【図1】



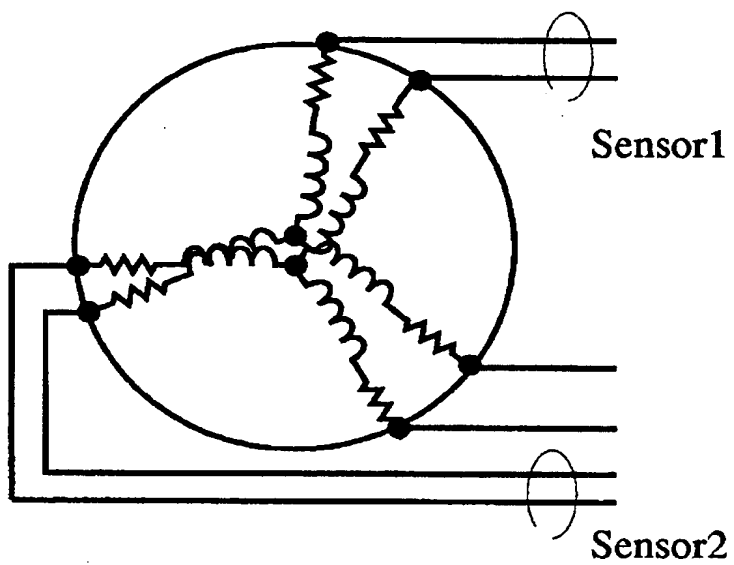
【図2】



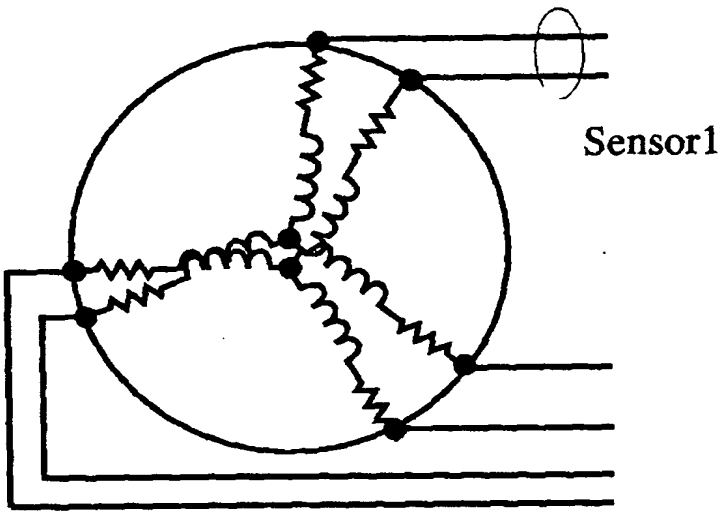
【図 3】



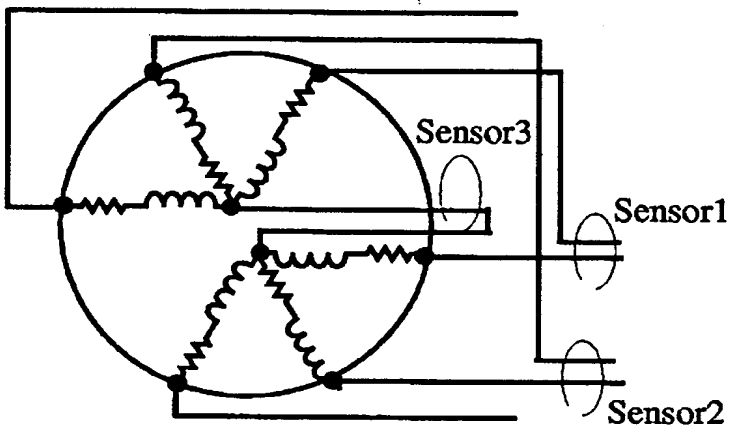
【図 4】



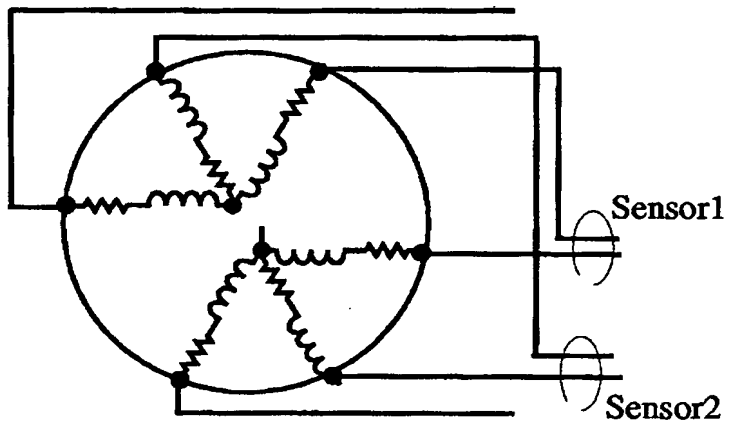
【図 5】



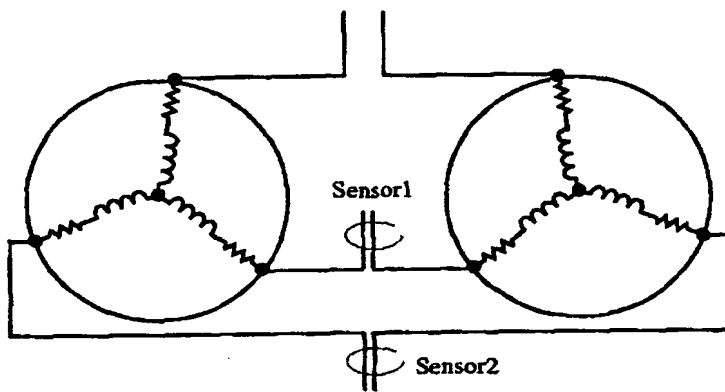
【図 6】



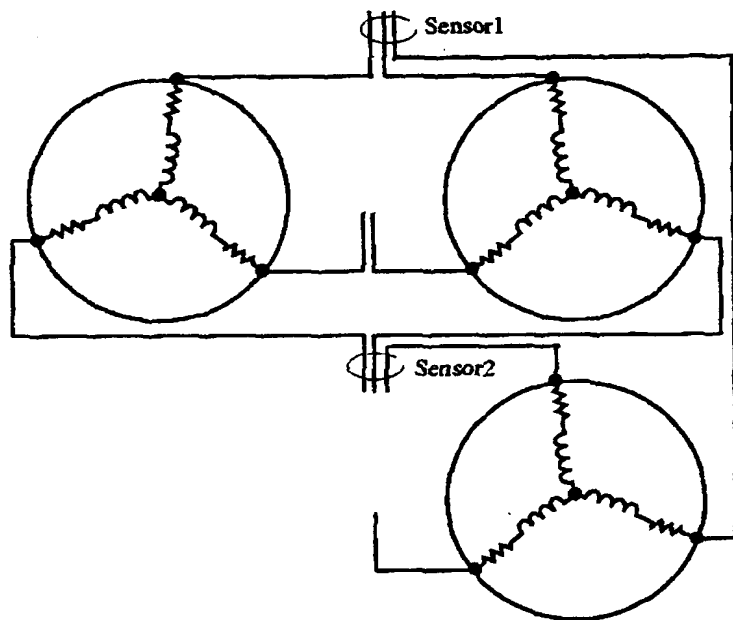
【図 7】



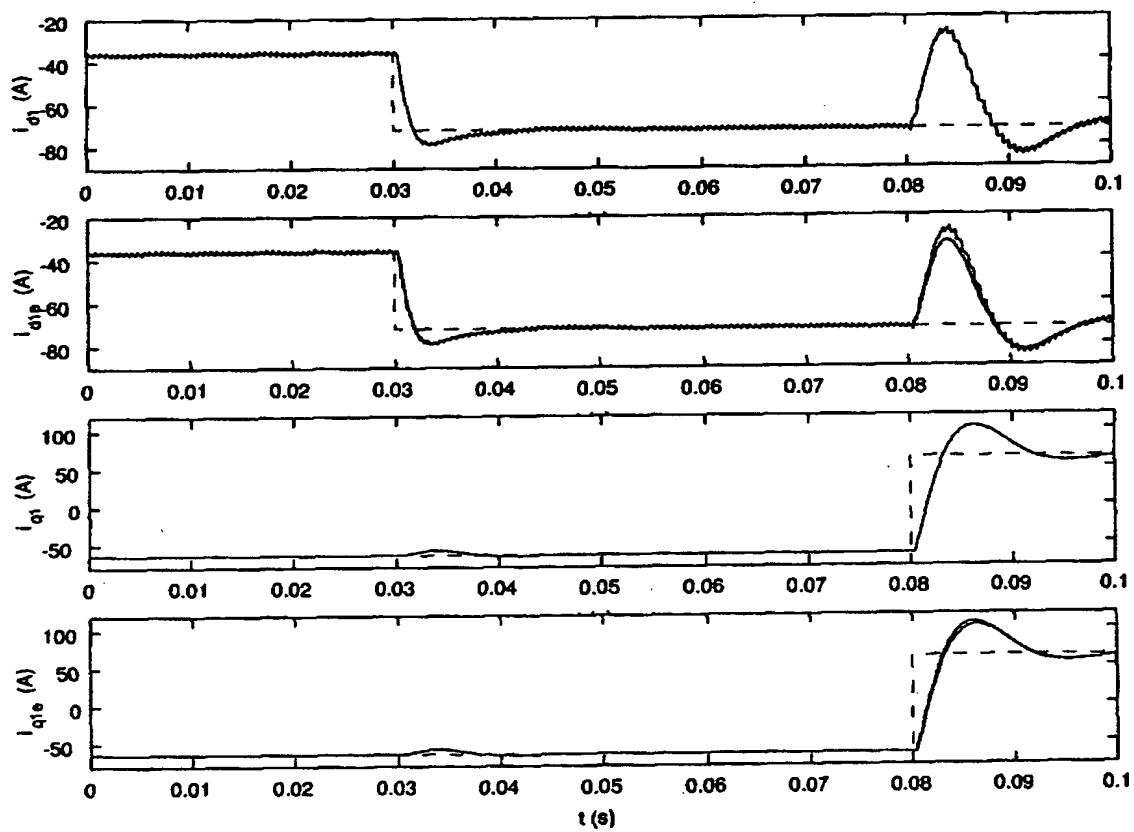
【図 8】



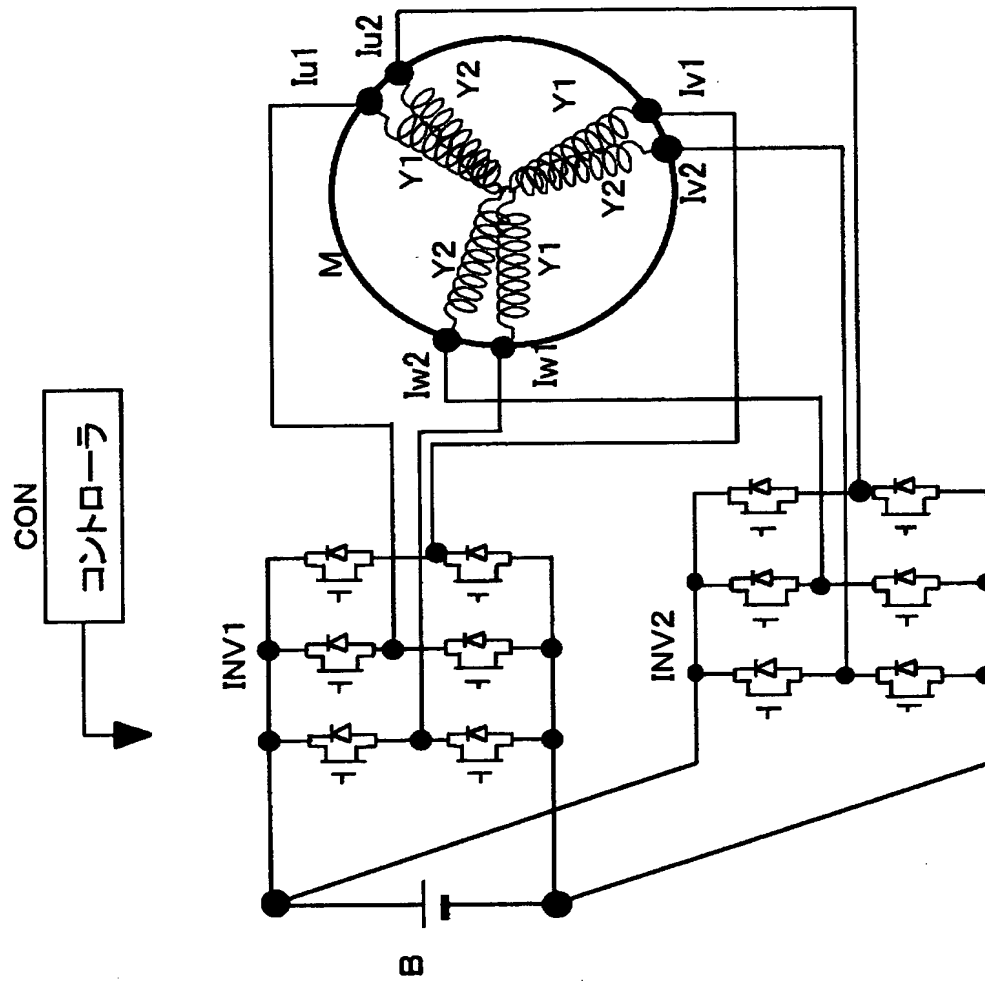
【図 9】



【図 10】



【図 11】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 電流センサの数を減少する。

【解決手段】 3相コイルY1, Y2の2つに対し、インバータINV1, INV2からそれぞれ相電流を供給する。ここで、通常であれば、各3相コイルY1, Y2について、2つの相電流を検出しなければならず、電流センサは4つ必要である。オブザーバを利用して各相電流を推定することで、検出する相電流の数を減少する。

【選択図】 図11

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 3 6 0 9]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 9 月 6 日
[変更理由]	新規登録
住 所	愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 4 1 番地の 1
氏 名	株式会社豊田中央研究所

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 3 2 0 7]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 8 月 2 7 日
[変更理由]	新規登録
住 所	愛知県豊田市トヨタ町1番地
氏 名	トヨタ自動車株式会社